

⑨ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift

⑩ DE 196 38 727 A 1

⑤① Int. Cl.<sup>8</sup>:

G 01 B 11/00

G 01 M 11/08

G 06 T 17/20

A 81 C 19/04

⑲ Aktenzeichen: 196 38 727.2

⑳ Anmeldetag: 12. 9. 96

㉑ Offenlegungstag: 19. 3. 98

DE 196 38 727 A 1

⑦① Anmelder:

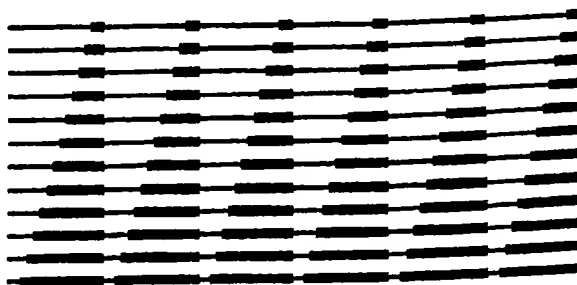
Rubbert, Rüdger, Dipl.-Ing., 12101 Berlin, DE

⑦② Erfinder:

gleich Anmelder

⑤④ Verfahren zur Erhöhung der Signifikanz der dreidimensionalen Vermessung von Objekten

⑤⑦ Beschrieben wird ein Verfahren zur Erhöhung der Signifikanz der dreidimensionalen Vermessung von Objekten durch optische Aufnahmen, aufprojizierte Muster und Triangulationsberechnung, bei dem ein kodierte Muster auf der Objekt zur Vermeidung von Mannigfaltigkeiten bei der Auswertung der Bilddaten projiziert wird. Dies ist insbesondere für die medizinische Diagnostik, Therapie und Dokumentation vorteilhaft.



DE 196 38 727 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 01. 98 802 012/403

7/25

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erhöhung der Signifikanz der dreidimensionalen Vermessung von Objekten durch optische Aufnahmen, aufprojizierte Muster und Triangulationsberechnung, bei dem ein kodiertes Muster auf das Objekt zur Vermeidung von Mannigfaltigkeiten bei der Auswertung der Bilddaten projiziert wird.

Zum Zweck der Vermessung bietet der Einsatz von Verfahren, die auf optischer Grundlage arbeiten, eine Vielzahl von Vorteilen. Eine Vermessung kann schnell und berührungslos erfolgen. Zum Stand der Technik gehören elektronische Bildwandler, beispielsweise CCD-Arrays, deren Ausgangssignale unmittelbar nach einer Digitalisierung gespeichert oder ausgewertet werden können.

Bekannt sind Verfahren und Vorrichtungen zur Darstellung und optischen dreidimensionalen Vermessung von räumlichen Oberflächen. Sie basieren auf Triangulationsverfahren, bei denen unter einem bekannten Winkel Punkt-, Linien- oder beliebige andere Muster auf die betrachtete Oberfläche projiziert werden und die projizierten Muster unter einem von dem Projektionswinkel verschiedenen Blickwinkel mit einer Optik und einem Bildwandler aufgenommen werden. Die bekannte Geometrie zwischen Projektionsrichtung und Aufnahmerichtung erlaubt die dreidimensionale Berechnung von Stützpunkten der Oberfläche.

Projiziert man auf ein Objekt mit räumlichen Erstreckungen beispielsweise ein gleichmäßiges Linienmuster, ergibt sich bei einer von der Projektionsrichtung verschiedenen Blickrichtung in Abhängigkeit von der Oberflächengestalt des Objekts ein verzerrtes Linienmuster. Bildet man aus dieser Betrachtungsrichtung das Objekt durch eine geeignete Optik auf ein CCD-Array ab, digitalisiert man die Bildsignale und stellt sie einer Datenverarbeitungseinheit zur Verfügung, so ist es möglich, an verschiedenen Stellen des Bildes die Linien zu identifizieren und bei Kenntnis des optischen Strahlengangs und unter Berücksichtigung der geometrischen Ausbildung des projizierten Linienmusters über Triangulation 3D-Koordinaten zu errechnen.

Bei einer einfachen räumlichen Ausbildung des Objekts können aufgrund des relativen Abstands der abgebildeten Linien zueinander inkrementelle Koordinaten berechnet werden.

Es ist jedoch bekannt, daß Höhenstufen in der zu vermessenden Oberfläche unter bestimmten geometrischen Bedingungen zu relevanten Meßfehlern führen können. Weist das Objekt bezüglich der Projektions- bzw. der Aufnahmerichtung Hinterschnidungen auf, so ist nicht ohne weiteres ersichtlich, ob es sich bei benachbarten Linien im Abbild tatsächlich auch um benachbart projizierte Linien handelt. Falls einzelne Linien nicht zur Darstellung gekommen sind, ist zudem nicht bekannt, wie viele Linien "verschluckt" worden sind. Als Hinterschnidungen sind hier Ausbildungen der dreidimensionalen Kontur zu verstehen, die infolge der Betrachtungs- oder der Projektionsrichtung durch Teile des Objekts selbst verdeckt und damit für eine Betrachtung oder Projektion nicht zugänglich sind.

In der europäischen Patentanmeldung 0 250 993 wird ein System zur Herstellung von Keramikinlays beschrieben, bei dem zum Vermessen der Kavität eines Zahnes eine optische 3D-Meßvorrichtung verwendet wird. Dort wird die Bedeutung einer "optimalen Sicht" aus zwei Gründen unterstrichen: — erstens —, um die

Aufnahmeeinheit hinsichtlich Sicht- und Projektionsrichtung derart auszurichten, daß mit einer einzigen Aufnahme die relevanten Oberflächensegmente des Objekts aufgenommen werden können und — zweitens —, um nicht aufgrund von Hinterschnidungen die 3D-Koordinaten fehlerhaft zu berechnen. In diesem Zusammenhang wird vorgeschlagen, die Linien aufgrund der partiell vorliegenden Kontrastinformation bei der Berechnung zu "gewichten". Dies kann jedoch bei einer hinsichtlich des Kontrasts unterschiedlichen Ausbildung der Oberflächenstruktur des Objekts die Wahrscheinlichkeit einer fehlerhaften Berechnung nur zum Teil minimieren.

Es gehört zum Stand der Technik, die aus Einzelbildern mit unterschiedlicher Aufnahmerichtung gewonnenen Teilinformationen über dreidimensionale Oberflächen anhand der 3D-Koordinaten übereinstimmender Oberflächensegmente mittels sogenannter "Matching-Algorithmen" zu einer Gesamtinformation zu kombinieren. Es ist offensichtlich, daß Mannigfaltigkeiten bzw. Unsicherheiten bezüglich der Richtigkeit der eingehenden Koordinaten eine sinnvolle numerische Berechnung verunmöglichen können, insbesondere wenn diese automatisch und online während des Aufnahmevorgangs vorgenommen werden soll.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, das Verfahren zur Erhöhung der Signifikanz der dreidimensionalen Vermessung von Objekten der eingangs beschriebenen Art zu schaffen, mit dem jeder Bereich des projizierten Musters in dem Aufnahmebild für sich betrachtet eindeutig identifiziert werden kann, ohne daß eine Stetigkeit der Oberfläche hinsichtlich der Betrachtungs- und Projektionsrichtung in der oben beschriebenen Art und Weise vorausgesetzt werden muß.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß bei dem Verfahren dadurch gelöst, daß die zum Zwecke der dreidimensionalen Vermessung von Objekten mit räumlichen Erstreckungen nach dem Triangulationsverfahren projizierten Musterbereiche derart kodiert sind, daß sich anhand eines partiellen Bildausschnitts die Zuordnung zu dem entsprechenden Bereich des projizierten Musters erkennen läßt. Aus der Kenntnis des Strahlengangs, der geometrischen Ausbildung des projizierten Musters und der Kenntnis der Lage des entsprechenden Musterschnittes in der Bildaufnahme können mittels einfacher Triangulationsberechnung absolute 3D-Koordinaten bestimmt werden.

Wenn jetzt Teile des projizierten Musters in einen abgeschatteten Bereich fallen, so kann dennoch partiell das Muster identifiziert und eine exakte 3D-Berechnung ausgeführt werden. Zwar ist die dreidimensionale Vermessung der Oberfläche bezüglich des abgeschatteten Bereichs nicht möglich, aber für die anderen Bereiche aufgrund der eindeutigen Zuordnung der jeweiligen Musterpartien korrekt.

Es ist denkbar, daß die Ausbildung des kodierten Musters gegenüber einem einfachen Streifenmuster unter Umständen die Anzahl der berechenbaren 3D-Informationen reduziert. Bewegt man jedoch mit geringer Geschwindigkeit die Aufnahmeeinheit gegenüber dem Objekt und nimmt währenddessen eine Folge unterschiedlicher Einzelbilder auf, so können durch geeignete Kombination der den Einzelbildern zugeordneten Informationen die 3D-Informationen verdichtet als auch sukzessive vervollständigt werden; sei es, um die aufgrund von Hinterschnidungen in Einzelbildern fehlenden Informationen zu ergänzen; sei es um größere Objekte darzustellen, als dies aufgrund der Begrenzungen des Sicht-

felds der Aufnahmeeinheit in einer Einzelaufnahme möglich ist.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren können in dem vorstehend beschriebenen Sinne Mannigfaltigkeiten bei der Triangulationsberechnung vermieden und die Signifikanz dieser Berechnungen erhöht werden.

"Kodiert" sind im Sinne dieser Erfindung Bereiche des aufprojizierten Musters, die hinsichtlich ihrer geometrischen Ausbildung und/oder Erstreckung und/oder ihrer sonstigen beispielsweise farbigen Ausgestaltung signifikant unterscheidbar sind.

Wird als Muster für die Projektion ein Linienmuster verwendet, erhält man für die 3D-Berechnung relevante Informationen, wenn die Linien mit einer wesentlichen Komponente quer zu der von der zwischen Blick- und Projektionsrichtung aufgespannten Ebene gestreift sind.

Bei Verwendung eines Linienmusters können die Linien erfindungsgemäß vorteilhaft z. B. durch Variation der Strichstärke innerhalb der jeweiligen Linie kodiert werden. Hierbei können binäre, andere diskrete und analoge Kodierungen zum Einsatz kommen.

Werden beispielsweise — erstens — helle Linien auf das Objekt projiziert, liegen — zweitens — die Kontrastdaten der digitalisierten Bildinformationen im Speicher einer Datenverarbeitungseinheit flächig vor, sind also in Zeilen und Spalten organisiert und repräsentieren — drittens — die Spaltendaten beispielsweise die Bildinformationen in Richtung der Ebene, die zwischen Aufnahme- und Projektionsrichtung aufgespannt wird, kann die automatisierte Auswertung der Daten in einem geeigneten Algorithmus zum Zwecke der Berechnung der absoluten 3D-Koordinaten derart erfolgen, daß die Kontrastdaten entlang einer Bildspalte auf die Übereinstimmung mit der Musterfolge dunkel/hell/dunkel überprüft werden. Hierfür sind die entsprechenden statistischen und numerischen Methoden wie Kreuzkorrelation, Wiener-Filter etc. auch für die Subpixelauswertung bekannt.

Ist nun die Spaltenstelle der Musterübereinstimmung bekannt, das heißt, hat man eine Linie identifiziert, kann über Kantenverfolgung der Verlauf und die Ausbildung der Linie in den benachbarten Spalten untersucht werden. Mit dem zum Stand der Technik gehörenden Methoden der Mustererkennung kann damit die Linie selbst bezüglich ihrer Ausbildung und damit ihrer Kodierung untersucht werden.

Im Ergebnis ist — erstens — die Spaltenstelle bekannt, an der die Linie mit ihrem Musterschwerpunkt aufgenommen wurde und — zweitens — das entsprechende Liniensegment dekodiert; somit läßt sich das Liniensegment eindeutig zur entsprechenden Musterstelle in dem unverzerrten und zur Projektion gekommenen Muster zuordnen. Aus diesen Informationen kann über Triangulationsberechnung die 3D-Koordinate für einen entsprechenden Punkt der betrachteten Oberfläche des Objekts bestimmt werden.

Identifiziert man nun in der beschriebenen Art und Weise sowohl die anderen Linien in derselben Spalte und führt man dieses Verfahren auch in anderen Spalten durch erhält man eine Anzahl von Koordinaten, die sämtlich einzelnen Punkten auf der Oberfläche des Objekts entsprechen. Derartige sogenannte "Punktwolken", mit denen die Ausbildung von Oberflächen beschrieben wird, sind in der Technik bekannt. Die weitere Datenverarbeitung von Punktwolken beispielsweise zur Bildung von Gitternetzstrukturen oder von Flächensegmenten gehört ebenfalls zum Stand der Tech-

nik.

Insbesondere bei medizinischen Anwendungen ermöglicht die mit vorstehendem Verfahren mögliche exakte dreidimensionale digitale Beschreibung den Verzicht auf räumliche Abformungen (wie z. B. Gipsabdrücken) zur Dokumentation von Befunden dreidimensionalen Inhalts oder zur computergestützten Anfertigung von therapeutischen Mitteln (wie z. B. Zahnschienen, Zahnersatz, Implantate).

Es ist erfindungsgemäß vorteilhaft, entlang der jeweils betrachteten Linie abwechselnd Segmente mit einfacher und doppelter Strichstärke anzuordnen. Werden beispielsweise zudem jeweils kurze und lange Liniensegmente verwendet, können aus der Variation kurzer und langer Liniensegmente mit einfacher oder doppelter Strichstärke entlang einer Linie analog zum Morsealphabet die Linien unterschiedlich kodiert werden. Wenn jetzt Linien in einen abgeschatteten Bereich fallen, so kann dennoch für jedes einzelne sichtbare Liniensegment, das die vollständige Kodierung enthält, eine Berechnung absoluter 3D-Koordinaten ausgeführt werden, ohne daß hierfür Informationen bezüglich anderer Linien oder Linienabschnitte erforderlich sind.

Es ist erfindungsgemäß vorteilhaft, in bestimmten Musterausschnitten in geometrisch eindeutiger Anordnung beispielsweise den schwarz/weiß-Anteil zu variieren, um aus dem jeweiligen Verhältnis schwarz zu weiß die Musterpartie von anderen unterscheiden zu können. Erfindungsgemäß besonders vorteilhaft können die Segmente mit unterschiedlichem Schwarzanteil linear oder konzentrisch angeordnet werden.

Es ist erfindungsgemäß vorteilhaft, in bestimmten Musterausschnitten Unterbrechungen der Linien anzuordnen und durch unterschiedliche Ausgestaltung dieser Unterbrechungen die Musterteile zu variieren.

Alternativ oder zusätzlich zu einer schwarz/weiß-Ausbildung des Musters kann erfindungsgemäß besonders vorteilhaft eine Farbkodierung des Musters vorgenommen werden. Bei Verwendung von Linien als Muster kann erfindungsgemäß vorteilhaft beispielsweise jede Linie in einer unterschiedlichen Farbe ausgeführt werden. Dadurch bleibt die Informationsdichte je Linie vollständig erhalten; dennoch ist jede Linie eindeutig zu identifizieren, sofern der Farbgehalt der aufgenommenen Oberfläche eine solche Unterscheidung zuläßt.

Unter "Farbe" wird im Sinne dieser Erfindung eine Auswahl von Spektrallinien und Spektralbereichen des sichtbaren, infraroten und/oder ultravioletten Lichts verstanden. Im Sinne dieser Definition ist es unerheblich, ob die Farbe durch Erzeugung bestimmter Spektren oder Spektralbereiche und gegebenenfalls durch additive Farbmischung gebildet oder durch Absorption und gegebenenfalls subtraktive Farbmischung aus einem breiteren Spektrum gefiltert wird.

"Schwarz" wird im Sinne dieser Erfindung synonym für im wesentlichen unbeleuchtet und/oder für im wesentlichen ohne Rückstrahl- oder Durchstrahlkomponente aufgrund von Absorption verwendet.

"Weiß" wird im Sinne dieser Erfindung synonym für mit breitem Spektralband beleuchtet und für mit Rückstrahl- oder Durchstrahlkomponente mit breitem Spektralband verwendet.

Sämtliche in dieser Erfindung beschriebenen Ausgestaltungen des Verfahrens können erfindungsgemäß besonders vorteilhaft in vielfältiger Art und Weise miteinander kombiniert werden.

Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus

der folgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele in Verbindung mit der anliegenden Zeichnung.

Es zeigt die anliegende Zeichnung in den Figuren Fig. 1 und 2 Ausführungsformen von kodierten Mustern zur Durchführung von optischen Aufnahmen zum Zwecke der dreidimensionalen Vermessung von Objekten durch aufprojizierte Muster und Triangulationsberechnungen nach der Erfindung, teilweise schematisiert.

In dem in Fig. 1 gezeigten Linienmuster ist die Strichstärke entlang der jeweiligen Linie in regelmäßig wiederholter Folge abwechselnd in einfacher oder doppelter Breite (Strichstärke) dergestalt ausgeführt, daß in einem definierten Linienabschnitt das Längenverhältnis der Stücke mit einfacher und doppelter Strichstärke von Linie zu Linie unterschiedlich ausgebildet ist. In analoger Anwendung der in der Signalverarbeitung üblichen Ausdrucksweise kann man mit anderen Worten in diesem Zusammenhang von einem unterschiedlichen schwarz/weiß-Tastverhältnis innerhalb der Periodizität des Musters sprechen.

Die in Fig. 1 gezeigte Ausführungsform zeichnet sich zusätzlich zu der Kodierung der Musterteile dadurch aus, daß aufgrund der besonderen Ausbildung des Musters eine hohe Dichte der berechenbaren Stützpunkte erreicht werden kann.

In Fig. 2 wird eine Anordnung von konzentrischen Musterelementen gezeigt wobei die einzelnen Elemente dergestalt kodiert sind, daß — erstens — der innere Kreis in 90°-Segmenten unterschiedlich geschwärzt ist, — zweitens — der äußere konzentrische Ring in 90°-Segmenten unterschiedlich geschwärzt ist und — drittens — die Winkelstellung des äußeren konzentrischen Ringmusters zur übergeordneten Elementanordnung unterschiedlich ausgebildet ist. Die in Fig. 2 gezeigte Ausführungsform zeichnet sich zusätzlich zu der Kodierung der Musterteile dadurch aus, daß

- a) durch die drei genannten Möglichkeiten der unterschiedlichen Ausbildung des einzelnen Musterelements eine hohe Signifikanz der Kodierung erreicht werden kann und insofern
- b) eine große Anzahl von Elementen sicher unterschieden werden können, beziehungsweise
- c) redundante Informationen zu Prüfzwecken dargestellt werden können,
- d) sich die konzentrische Ausbildung der Musterelemente für die automatische Mustererkennung eignet und
- e) sich der innere Kreis in seinen unterschiedlichen Ausbildungen für die exakte Bestimmung der Stelle im verzerrten Abbild des projizierten Musters mittels Mustererkennungsalgorithmen eignet.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Erhöhung der Signifikanz der dreidimensionalen Vermessung von Objekten durch optische Aufnahmen, aufprojizierte Muster und Triangulationsberechnung, **dadurch gekennzeichnet**, daß verschiedene Bereiche des aufprojizierten Musters eine unterschiedliche Ausbildung aufweisen und damit kodiert sind.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Muster aus mindestens zwei geometrischen Elementen zusammengesetzt ist, die durch unterschiedliche Ausbildung kodiert sind.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei den unterschiedlich ausge-

bildeten geometrischen Elementen um Elemente mit im wesentlichen linearer Erstreckung handelt.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei den unterschiedlich ausgebildeten geometrischen Elementen um Elemente mit im wesentlichen konzentrischer Erstreckung handelt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die unterschiedlich ausgebildeten Bereiche des Musters Unterschiede hinsichtlich der Ausbildung der Strichstärke aufweisen und dadurch kodiert sind.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die unterschiedlich ausgebildeten geometrischen Elemente des Musters Unterschiede durch Unterbrechung aufweisen und dadurch kodiert sind.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die unterschiedlich ausgebildeten Bereiche des Musters Unterschiede hinsichtlich der Farbgestaltung und/oder des schwarz/weiß-Gehalts aufweisen und dadurch kodiert sind.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß aus der Bildinformation 3D-Koordinaten von jeweils mindestens einem Punkt aus mindestens zwei Bereichen der Oberfläche des aufgenommenen Objekts berechnet werden, auf die während der Aufnahme unterschiedlich kodierte Bereiche des Musters projiziert worden sind.

9. Verwendung der Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 für die medizinische Diagnostik, Therapie oder Dokumentation.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1

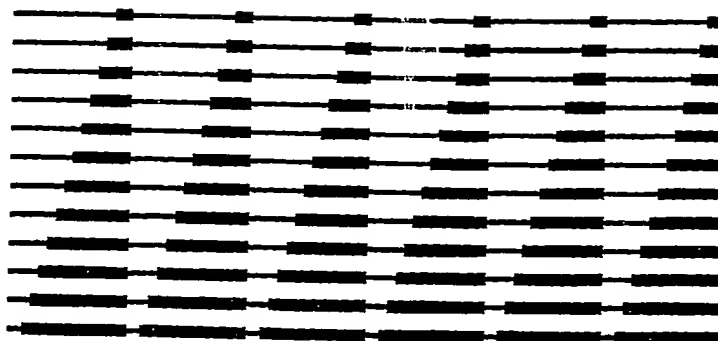
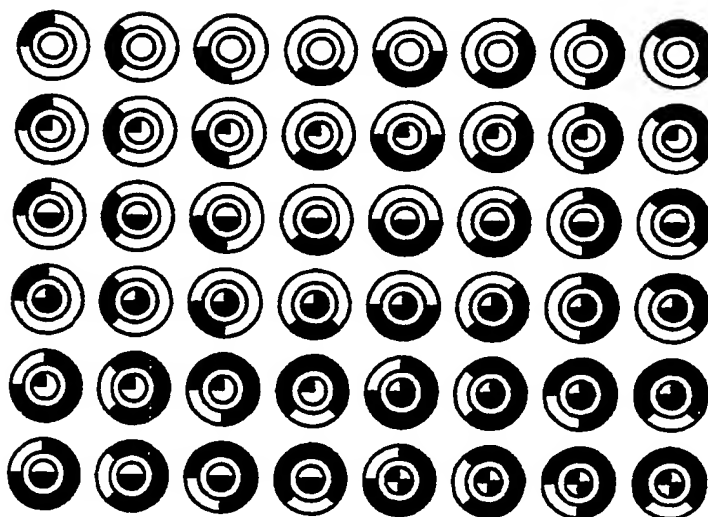


Fig. 2



- Leerseite -

Method for increasing the significance of the three-dimensional surveying of objects

5 The invention relates to a method for increasing the significance of the three-dimensional surveying of objects by means of optical pick up, projected patterns and triangulation calculations, in which a coded pattern is projected onto the object in order to avoid variations in the evaluation of the image data.

10 For surveying purposes, the range of methods which work on an optical principle offers a large number of advantages. A survey can be done rapidly and without contact. The prior art includes electronic image converters, for example CCD arrays, the output signals of which can be stored or evaluated directly after being digitised.

15 Methods and devices are known for representing and for optical three-dimensional surveying of spatial surfaces. They are based on triangulation methods in which point, line or any other patterns are projected at a known angle onto the surface being viewed and the projected pattern is picked up from a different viewing angle from the projection angle with an optical system and an image converter. The  
20 known geometry between the direction of projection and the pick up direction allows three-dimensional calculation of interpolation points of the surface.

If, for example, a regular line pattern is projected onto an object with spatial extents, when the viewing direction differs from the direction of projection, a  
25 distorted line pattern is produced dependent upon the surface shape of the object. If the object is imaged from this viewing direction on to a CCD array by means of a suitable optical system, and if the image signals are digitised and made available to a data processing unit, it is possible to identify the lines at different places in the image, and when the optical beam path is known, and taking into account the  
30 geometrical configuration of the projected line pattern, to calculate 3D coordinates by means of triangulation.

With a simple spatial configuration of the object, incremental coordinates can be calculated on the basis of the relative distance apart from one another of the lines imaged.

- 5 It is known, however, that height contours in the surface to be surveyed can, under certain geometrical conditions, lead to significant errors in measurement. If the object has undercuts with respect to the direction of projection and/or pick up, it is not absolutely obvious whether adjacent lines in the image are actually adjacently projected lines. If individual lines have not been represented, it is also unknown
- 10 how many lines have been "swallowed". Undercuts are understood in this context as configurations of the three-dimensional contour which, as a result of the direction of viewing or of projection, are covered up by parts of the object itself, and therefore are not accessible for viewing or projection.
- 15 In European patent application 0 250 993, a system for manufacturing ceramic inlays is described in which an optical 3D measuring device is used for surveying the cavity in a tooth. Here, the importance of an "optimum view" is underlined for two reasons - firstly - in order to be able to align the pick up unit with respect to the direction of viewing and of projection such that the relevant surface segments
- 20 of the object can be picked up with a single image pick up, and - secondly - in order to not make erroneous calculations of the 3D coordinates because of undercuts. In this connection, it is proposed to "weight" the lines in the calculation, because of the contrast data partially available. When the configuration of the surface structure of the object is different with respect to contrast, however, this can only partially
- 25 minimise the probability of an erroneous calculation.

It is known from the prior art to combine into overall data the partial data about three-dimensional surfaces obtained from single images picked up from different directions, using the 3D coordinates of corresponding surface segments, by means

- 30 of so-called "matching algorithms". It is obvious that variations and doubts about the correctness of the coordinates involved can make a useful digital calculation



impossible, in particular when this is to be done automatically and on-line during the pick up procedure.

5 The object of the invention is therefore to provide the method for increasing the significance of the three-dimensional surveying of objects, of the type described in the introduction, with which every area of the projected pattern can, when viewed, be clearly identified in the image picked up, without continuity of the surface with respect to the direction of viewing and projection, in the manner described hereinabove, being a requirement.

10

The object is attained according to the invention with respect to the method in that the pattern areas projected for the purpose of three-dimensional surveying of objects with spatial extents according to the triangulation method are coded such that using a partial image section, the relationship with the corresponding area of the projected  
15 pattern can be recognised. By knowing the beam path and the geometrical configuration of the projected pattern, and by knowing the position of the corresponding pattern section in the image pick up, absolute 3D coordinates can be determined by means of simple triangulation calculation.

20 When parts of the projected pattern now fall into a shaded area, the pattern can nevertheless be identified partially, and an exact 3D calculation can be carried out. Although three-dimensional surveying of the surface with respect to the shaded area is not possible, it is correct for the other areas because of the clear association of the respective parts of the pattern.

25

It is conceivable that under some conditions, the configuration of the coded pattern reduces the number of calculable 3D data compared to a simple striped pattern. If, however, the pick up unit is moved at low speed with respect to the object, and during this takes a sequence of different single images, by suitable combination of  
30 the data associated with to the single images, the 3D data can be condensed and successively completed; whether to supplement the data missing due to undercuts

in individual images, or whether it is to represent larger objects than is possible because of the limitations of the viewing field of the pick up unit in one single image.

- 5 By means of the method according to the invention, in the sense described hereinabove, variations in the triangulation calculation are avoided and the significance of these calculations increased.

10 Within the meaning of this invention, "coded" means areas of the projected pattern which are significantly distinguishable with respect to their geometrical configuration and/or extent and/or their other, for example coloured, configuration.

15 If a line pattern is used as a pattern for projection, data relevant for the 3D calculation is obtained when the lines are played with a substantial component transversely to the plane fixed between the directions of viewing and projection.

20 When a line pattern is used, the lines can, according to the invention, advantageously be coded, for example by variation of the line thickness within the respective lines. With this, binary, other discrete and analog encodings can be used.

25 If, for example - firstly - light lines are projected onto the object, - secondly - the contrast data of the digitised image data in the memory of a data processing unit are planar- that is to say are organised in lines and columns, and - thirdly - the column data represent for example the image data, in the direction of the plane fixed between the directions of pick up and projection, automatic evaluation of the data in a suitable algorithm for the purposes of calculating the absolute 3D coordinates can take place such that the contrast data is examined along a gap in the image for correspondence with the dark/light/dark pattern sequence. Appropriate statistical and digital methods such as cross-correlation, Wiener filters and so forth are also known  
30 for sub-pixel evaluation.

If the column location of the pattern correspondence is now known, that is to say, a line has been identified, the course and the configuration of the line can now be investigated for in the adjacent columns by edge tracking. Using the methods known from the prior art for pattern recognition, the line itself can thereby be  
5 investigated with respect to its configuration and thereby its code.

As a result - firstly - the column location is known where the line together with its main focus of pattern has been recorded, and - secondly - the corresponding line segment is decoded; the line segment can consequently be clearly assigned to the  
10 corresponding location in the pattern in the undistorted pattern which has been used for projection. From these data, the 3D coordinates for a corresponding point of the viewed surface of the object can be determined by means of triangulation calculation.

15 If the other lines are also identified in the same column in the manner described, and if this method is also implemented in other columns, a number of coordinates which together correspond to individual points on the surface of the object is obtained. Such so-called "scatter" with which the configuration is described is known in the prior art. The further data processing of scatter, for example in order  
20 to form grid system structures or surface segments is also known from the prior art.

In particular with medical applications, the exact three-dimensional digital description possible with the present method makes it possible to dispense with spatial modelling (such as plaster casting, for example) for documentation of  
25 findings or reports with a three-dimensional content or for computer aided production of therapeutic devices (such as, for example, tooth braces, replacement teeth, implants).

It is advantageous according to the invention to alternately arrange segments with  
30 single and double line thickness along the respective line being viewed. If, for example, in addition short and long line segments are used, the lines can be

differently coded similarly to Morse code by the variation in short and long line segments with single or double line thickness. When the lines now fall into a shaded area, a calculation of absolute 3D coordinates can be implemented nevertheless for each individual visible line segment which contains the complete coding, without data with respect to other lines or line sections being necessary for this.

It is advantageous according to the invention to vary, for example the black/white ratio in specific pattern sections in a clear geometrical arrangement, in order to be able to differentiate the part of the pattern from others by means of the respective ratio of black to white. Particularly advantageously according to the invention, the segments with a different black content can be arranged in a linear or concentric manner.

It is advantageous according to the invention to arrange gaps in the lines in specific pattern sections, and to vary the pattern parts by different configuration of these gaps.

Alternatively or in addition to a black/white configuration of the pattern, particularly advantageously according to the invention, colour coding of the pattern can be undertaken. When lines are used as a pattern, advantageously according to the invention, for example, each line can be configured in a different colour. In this way the data density per line is completely retained; nevertheless each line can be clearly identified, provided that the colour content of the surface being picked up allows such a differentiation.

Within the meaning of the invention, "colour" is understood to mean a selection of spectral lines and spectral ranges of visible, infra-red and/or ultra-violet light. In the sense of this definition, it is unimportant whether the colour is formed by producing specific spectra or spectral ranges and optionally by additive colour mixing, or filtered by absorption and optionally subtractive colour mixing from a

wider spectrum.

Within the meaning of the invention "black" is used as a synonym for substantially unlit and/or components substantially without retroreflection or transillumination,  
5 due to absorption.

Within the meaning of the invention, "white" is used as a synonym for lit with a wide spectral band and for components with retroreflection or transillumination with a wide spectral band.

10

All the configurations of the method described in this invention can, particularly advantageously according to the invention, be combined with one another in many different ways.

15 Further advantages, features and possible applications of the present invention will be evident from the following description of preferred embodiments with reference to the attached drawings.

In the attached drawings, Figs. 1 and 2 show embodiments of coded patterns for  
20 implementing optical pick ups for the purpose of three-dimensional surveying of objects by means of projected patterns and triangulation calculations according to the invention, in part schematically.

In the line pattern shown in Fig. 1, the line thickness along the respective lines is  
25 alternately configured in a regularly repeating sequence in single or double width (line thickness), such that in a defined line section, the proportion of the length of the pieces with single and double line thickness is configured differently from line to line. In connection with this, using the expression commonly used in signal processing in an analogous manner, one may, in other words, speak of a different  
30 black-white pulse duty factor within the periodicity of the pattern.

In addition to coding of the parts of the pattern, the embodiment shown in Fig. 1 is distinguished in that because of the particular configuration of the pattern, a high density of calculable interpolation points can be obtained.

- 5 Fig. 2 shows an arrangement of concentric pattern elements wherein the individual elements are coded such that - firstly - the inner circle is variously blackened in 90° segments, - secondly - the outer concentric ring is variously blackened in 90° segments, and - thirdly - the angular position of the outer concentric ring pattern is configured differently to the element arrangement above
- 10 it. The embodiment shown in Fig. 2 is distinguished, in addition to the coding of the pattern parts, in that
- 15 a) a high degree of significance of coding can be obtained by means of the three possibilities described of different configuration of the individual pattern elements, insofar as
  - b) a large number of elements can be reliably differentiated from one another, and/or
  - 20 c) redundant data can be represented for checking purposes,
  - d) the concentric configuration of the pattern elements is suitable for automatic pattern recognition, and
  - 25 e) the different configurations of the inner circle are suitable for precise determination of the location in the distorted image of the projected pattern by means of pattern recognition algorithms.

## Claims

1. Method for increasing the significance of the three-dimensional surveying of objects by optical pick up, projected patterns and triangulation calculation, characterised in that different areas of the projected pattern have a different configuration and are thereby coded.
2. Method according to claim 1, characterised in that the pattern is composed of at least two geometrical elements which are coded by different configurations.
3. Method according to claim 2, characterised in that the differently configured geometrical elements are elements which extend in a substantially linear manner.
4. Method according to claim 2, characterised in that the differently configured geometrical elements are elements which extend in a substantially concentric manner.
5. Method according to one of claims 1 to 4, characterised in that the differently configured areas of the pattern have differences with respect to the line thickness, and are coded thereby.
6. Method according to one of claims 2 to 5, characterised in that the differently configured geometrical elements of the pattern have differences by virtue of gaps, and are coded thereby.
7. Method according to one of claims 1 to 6, characterised in that the differently configured areas of the pattern have differences with respect to the colouring and/or the black-white content, and are coded thereby.
8. Method according to one of claims 1 or 7, characterised in that from the

image data, 3D coordinates are calculated of each of at least one point from at least two areas of the surface of the object picked up, upon which differently coded areas of the pattern have been projected during pick up.

5

9. Use of the method according to one of claims 1 to 8 for medical diagnostics, therapy or documentation.



Fig.1

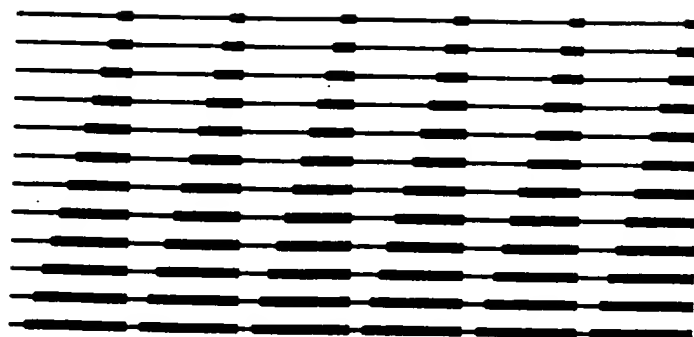


Fig.2

